

Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil

Efficiency of coagulation and flocculation as primary treatment of textile effluent

Lilian Danielli da Silva¹, Paulo Ricardo Dantas¹, Luiz Martins Pereira Neto¹, Valmir Cristiano Marques de Arruda¹, Rosangela Gomes Tavares¹, Vicente de Paulo Silva¹

¹ Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Brasil.
Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave

recursos hídricos
indústria têxtil
parâmetros físico-químicos
efluente têxtil
redução de parâmetros

Key-word

water resource
textile industry
physical-Chemical
parameters
textile effluent
parameter reduction

RESUMO

A intensa exploração dos recursos hídricos vem sendo um dos maiores vilões na disponibilidade desse recurso. As indústrias de modo geral utilizam grandes quantidades de água em seus processos. A indústria têxtil é uma das que mais utilizam água devido à lavagem dos tecidos. A cidade de Caruaru no estado do Pernambuco possui inúmeras dessas indústrias, produzindo efluentes que necessitam de tratamento. O presente trabalho utilizou a coagulação, floculação e decantação como tratamento primário dos efluentes de uma lavanderia de Caruaru-PE, como forma de diminuir os impactos ambientais que esses efluentes possam causar aos mananciais da região. Com utilização do tratamento proposto, foi possível verificar a eficiência do mesmo na redução dos parâmetros de cor, turbidez, demanda química de oxigênio e pH, variando a concentração de coagulante e velocidade de floculação. Os resultados obtidos identificaram que para a redução de DQO do efluente, a velocidade de floculação de 25 rpm e a concentração de sulfato de alumínio de 200 mg.l⁻¹ foi o melhor tratamento. Porém para a melhor eficiência na redução de Cor e Turbidez, o ensaio mais adequado foi o de velocidade de floculação de 20 rpm e concentração de coagulante de 150 mg.l⁻¹.

ABSTRACTS

In order to obtain the highest productive efficiency, the use of technologies such as the genetic improvement of sugarcane allows the development of numerous varieties, either resistant to pest attack or adapted to specific environmental conditions. Each of these varieties have a specific growth pattern when subjected to certain temperatures. The objective of this work was to obtain the growth rate and the base temperature for the development of 8 varieties of sugarcane. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Biosystems Engineering of ESLOQ / USP, using a randomized block design with six replicates. At each plant a potentiometer for growth monitoring was set up. The data were submitted to quantitative and qualitative statistical analysis. It was verified that: the varieties differed in relation to each other in relation to growth; the cubic model is the one that best represents the growth of the plants during the day; each of the varieties presented an optimum temperature for its development; the growth rate persists in schedule nocturnal; the variety 2 was the only one that presented no adjustment to any model; the optimum growing temperature ranged from 17 to 21°C; and the lowest base temperature was 7°C.

Informações do artigo

Recebido: 13 março, 2019
Aceito: 22 abril, 2019
Publicado: 30 abril, 2019

Introdução

A água é um recurso natural cada dia mais escasso. O setor industrial possui uma alta demanda hídrica, sendo de suma importância reduzir a poluição causada pelos seus processos industriais em cada etapa da cadeia produtiva (SOUZA et al., 2016).

As leis e normas direcionadas ao meio ambiente estão mais restritivas, fazendo com que a formação de mercados tenha uma maior competitividade e as empresas se tornem mais eficientes, tanto na produtividade como no papel ambiental. Desta forma, o aumento da produção industrial deve estar atrelado a uma redução de insumos e consequentemente a uma menor geração de poluentes (FREIRE e FREITAS, 2010).

Os processos inerentes de uma indústria leva a um alto consumo dos recursos hídricos em várias etapas dos processos industriais, causando uma grande geração de efluente, o qual pode contaminar corpos hídricos, como rios e mananciais, e o solo (COSTA, 2016).

Devido ao crescimento populacional e da necessidade de insumos houve o aumento da exploração dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos. As atividades industriais e a agricultura são responsáveis por mais de 70% do uso da água, além de dificultarem o tratamento devido aos seus resíduos com elementos químicos complexos, substâncias inorgânicas e metais pesados (CACHEIRA et al, 2013).

O agreste pernambucano possui um polo têxtil de grande importância para a economia local. O setor de confecções nas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe já é considerado o segundo maior polo têxtil do Brasil com aproximadamente 21 mil empresas, produzindo cerca de 900 milhões de peças por ano (LACERDA, 2013).

O efluente de lavanderias têxteis possui algumas características que dificultam o tratamento, além do seu alto potencial poluente por possuírem elevados teores de sais, detergentes, diversos tipos de corantes contendo chumbo, ferro, cobre e uma baixa biodegradabilidade (PERREIRA NETO, 2017). Além da poluição visual, esses efluentes promovem alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. O alto custo gerado para o tratamento dos resíduos dessa atividade as lavanderias acabam não tratando previamente o efluente antes de lançar no rio Ipojuca, principal rio da cidade de Caruaru, o que corrobora para contaminação das águas e dos organismos aquáticos.

Quando se trata de efluente industrial, o tratamento químico se torna indispensável já que alguns metais e bactérias são resistentes aos tratamentos biológicos (SCHROEDER, 2016). A coagulação e floculação são processos físico-químicos amplamente utilizados em indústrias e para o tratamento de efluente têxtil pois são eficientes na remoção de sólidos suspensos, fósforo, redução da demanda química de oxigênio (DQO) e da cor (KIM, 2016).

O processo de coagulação ocorre com a adição de um coagulante químico que retira as cargas eletrostáticas negativas dos colóides, diminuindo o seu potencial repulsivo e os aglutinando.

A floculação ocorre em sequência, com uso ou não de um floculante fazendo com que as partículas se organizem em flóculos de maior dimensão e densidade, podendo ser retirados posteriormente por filtração e/ou decantação (ZHANG, 2018). Para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação devem ser levados em consideração alguns fatores como pH, concentração do coagulante, agitação e o tempo de sedimentação. No Brasil, o coagulante mais utilizado é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) por ele não provocar grandes alterações no pH do efluente mantendo-se na faixa da neutralidade e ser eficaz na remoção de partículas coloidais e substâncias orgânicas (AHMAD et al, 2007).

A partir da temática abordada, o presente trabalho tem como objetivo identificar a eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamentos primários para efluentes de lavanderias.

Material e Métodos

Partindo do pressuposto de que a cidade de Caruaru possui um grande número de lavanderias, no presente trabalho foi coletado amostras de efluente de um desses estabelecimentos para verificar a eficiência dos processos de coagulação com uso do $Al_2(SO_4)_3$, floculação sem adição de floculante e decantação como tratamentos primários.

O efluente foi coletado em recipiente plástico, previamente higienizado antes da coleta para evitar contaminação. A coleta foi realizada por uma saída de efluente na canaleta de descarga da lavanderia. Em seguida as amostras foram mantidas a $\pm 5^\circ C$ e transportadas para o laboratório.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Os parâmetros analisados foram pH (método potenciométrico), turbidez (método nefelométrico), demanda química de oxigênio (por espectrofotometria) e cor (8025- real e aparente) segundo protocolo do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

Para iniciar o processo das análises, foi realizado um planejamento experimental Fatorial 2^2 para o ensaio com "Jar test" fundamentado no trabalho de Bezerra et al (2006) tendo como variáveis de entrada a concentração de sulfato de alumínio e a velocidade de floculação (V_f), ou seja, a agitação lenta.

As variáveis fixas foram velocidade de coagulação (V_c) ou agitação rápida; tempo de decantação (T_d) que é o tempo de espera para que os flocos formados decantem; tempo de floculação (T_f) que é o tempo que a (V_c) será deixada a fim de formar os flocos e o tempo de coagulação (T_c) que é o tempo que após adicionado o coagulante será deixado agitando para homogeneizar a mistura. Foram tomadas 5 amostras do efluente e dispostas em béqueres de 500mL, e direcionados para o equipamento "Jar Test" para os ensaios de coagulação. O planejamento experimental é exposto no Quadro 1, cujos valores são segundo Pereira Neto(2017).

Quadro 1 – Planejamento experimental do ensaio

Ensaio	Vf (rpm*)	Sulfato de alumínio (mg L ⁻¹)
1	25	200
2	25	100
3	15	100
4	15	200
5	20	150

*rotações por minuto

Fonte: Autores (2018)

O Quadro 2 apresenta os valores fixados das variáveis de processo utilizadas no ensaio de decantação/floculação/coagulação.

Quadro 2 – Valores das variáveis fixadas

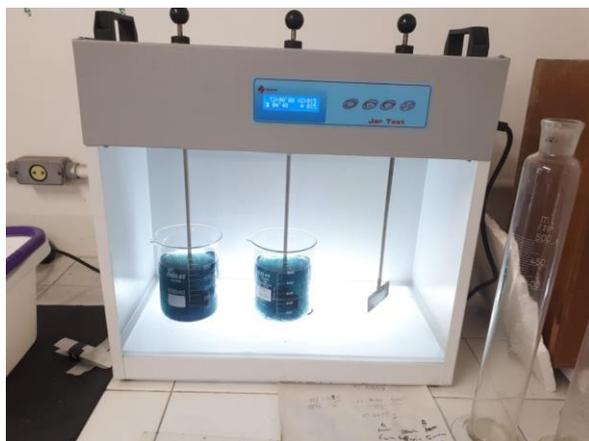
Variáveis fixadas nos ensaios	
Velocidade de coagulação	120 rpm
Tempo de decantação	60 min
Tempo de floculação	02 min
Tempo de coagulação	10 min

Fonte: Autores (2018)

Os tratamentos foram realizados em triplicata em equipamento Jar-test e submetidos a diferentes velocidades de rotação e diferentes concentrações do coagulante; Esse esquema serve para identificar qual a melhor eficiência baseada na velocidade de agitação e atrelada a melhor concentração de sulfato de alumínio para o tratamento proposto.

A Figura 1 apresenta o experimento do “Jar test” na realização do processo de coagulação e floculação com as amostras estudadas. Na Figura 2 é apresentado o processo de decantação, na sequencia do ensaio de coagulação/floculação.

Figura 1 – Ensaio de coagulação/floculação.



Fonte: Autores (2018)

Para a decantação dos sedimentos que foram coagulados pelo uso do sulfato de alumínio, as amostras após a execução do “Jar test”, foram submetidas a um tempo de 1 hora para que os aglomerados formados fossem decantados.

Figura 2 – Processo de decantação



Fonte: Autores (2018)

Para atestar a eficiência de tratamento primeira, foram realizadas análises com o efluente bruto, ou seja, antes das amostras serem submetidas aos processos de coagulação, floculação e decantação. Os parâmetros analisados foram: pH, Turbidez, Demanda química de oxigênio (DQO) e Cor.

Resultados e Discussões

O efluente antes de ser submetido ao tratamento com sulfato de alumínio encontrava-se na faixa da neutralidade. A caracterização dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto estão representados no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros físico-químicos do efluente bruto

Parâmetros	Resultados
pH	7,47
Turbidez (NTU)	148
DQO (mg L ⁻¹)	479,87
Cor (uH)	266

Fonte: Autores (2018)

A DQO do efluente bruto foi superior ao limite máximo de 50 mg.l⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 para o lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos.

Os demais parâmetros analisados apresentaram valores altos, caracterizando um efluente com alta carga poluidora, e assim, necessitando de um tratamento para só então ser disposto na natureza.

O Quadro 4 compara os resultados do primeiro e do segundo ensaio que foram submetidos a mesma velocidade (25 rpm) com variação na concentração de sulfato de alumínio (200 e 100 mg.l⁻¹, respectivamente).

Quadro 4 – Resultado Ensaio 1 e 2

Rotação de 25 rpm				
Parâmetros	Exp. 1 200 mg l ⁻¹	Efic. (%)	Exp. 2 100 mg l ⁻¹	Efic. (%)
pH	7,89	-	8,2	-
Turbidez (NTU)	49,45	66,59	48	67,57
DQO (mg l ⁻¹)	33,20	93,08	149,51	68,84
Cor (uH)	242	9,02	243	8,65

Fonte: Autores (2018)

A redução dos valores de DQO e da cor foram maiores no primeiro experimento com 200 mg.l⁻¹ de sulfato de alumínio e pH levemente alcalino. Neste tratamento a DQO ficou abaixo do limite máximo estabelecido pelo CONAMA n° 357 (50 mg.l⁻¹).

Nos experimentos realizados por Jeronimo (2012) a concentração de 200 mg.l⁻¹ também obteve melhor eficiência para remoção dos parâmetros do que a concentração de 100 mg.l⁻¹, mas em ambas o sulfato de alumínio teve melhores resultados quando aplicados em efluentes de pH ácido, todavia o pH após a coagulação fica próximo de 8,0 devido a formação do Al(OH)₃.

À medida que se aumenta a concentração de alumínio (Al³⁺) também cresce, por meio da neutralização de carga e desestabilização dos colóides carregados negativamente, a formação do hidróxido de alumínio Al(OH)₃, o que justifica o aumento do pH.

Neste caso, a menor concentração de sulfato de alumínio obteve uma melhor eficiência apenas na redução de cor quando submetidos à mesma rotação para floculação.

Pode observar que o sulfato de alumínio nos dois experimentos aumentou os valores do pH, podendo esse aumento ser devido a formação de hidróxido de alumínio no efluente analisado.

O Quadro 5 compara os experimentos 3 e 4 realizados com a mesma rotação (15 rpm) e diferentes concentrações de alumínio (100 e 200 mg.L⁻¹, respectivamente).

Quadro 5 – Resultado Ensaio 3 e 4

Rotação de 15 rpm				
Parâmetros	Exp. 3 100 mg.l ⁻¹	Efic. (%)	Exp. 4 200 mg.l ⁻¹	Efic. (%)
pH	8,19	-	7,94	-
Turbidez (NTU)	47,8	67,70	51,9	64,93
DQO (mg.l ⁻¹)	47,61	90,07	199,66	58,39
Cor (uH)	260,5	2,07	251	5,64

Fonte: Autores (2018)

O pH seguiu o mesmo comportamento observado com os experimentos 1 e 2 onde ocorreu o aumento com o uso do coagulante. Porém nos quatro tratamentos houve um menor aumento do pH quando a concentração de sulfato de alumínio foi de 200 mg.l⁻¹.

Já a DQO e a turbidez apresentaram melhores resultados no experimento 3, no qual a concentração do coagulante foi de 100 mg.l⁻¹.

No Quadro 6 é apresentado os resultados das análises para a amostra do ponto central, em que a rotação das pás no ensaio do “Jar test” foi de 20 rpm e a quantidade de sulfato de alumínio foi de 150 mg.l⁻¹. Este ensaio foi realizado em triplicata.

Quadro 6 – Resultado Ensaio 5

Rotação de 20 rpm		
Parâmetros	Exp. 5 150 mg.l ⁻¹	Efic. (%)
pH	8,13	-
Turbidez (NTU)	43,77	70,43
DQO (mg.l ⁻¹)	151,71	68,39
Cor (uH)	236	11,28

Fonte: Autores (2018)

Como é observado no quadro anterior, a turbidez e a cor foram os parâmetros que mais reduziram e tiveram a maior eficiência, quando comparados aos demais ensaios.

Apesar do aumento do pH, a DQO também obteve uma eficiência nesse ensaio, chegando a quase 70%. O ponto central foi executado como um valor médio entre a rotação e concentração de sulfato de alumínio de acordo com os demais ensaios.

A maior eficiência para redução de DQO ocorreu no experimento 1, que possui rotação de 25 rpm e 200 mg.l⁻¹ de sulfato de alumínio. Para a redução de cor nenhum dos experimentos tiveram redução maior do que 10% de eficiência.

A maior redução ocorreu no experimento 1 e a menor no experimento 3, com rotação de 15 rpm e 100 mg.l⁻¹.

A turbidez teve redução similar em todos os experimentos variando de 64 a 67% de eficiência, aproximadamente. De acordo com Dotto (2019) a redução de turbidez para efluentes têxtil pode chegar até 87,6% se o coagulante estiver entre uma faixa de pH 5 e 6.

Pode-se observar que o aumento do pH ocorreu em todos os experimentos independente da concentração e da rotação utilizada, corroborando com Vijayaraghavan et.al (2011) que afirma que este é um dos efeitos negativos do uso de coagulantes inorgânicos para o tratamento de águas residuais. Visto que a elevação do pH pode levar a necessidade de correção do mesmo, com isso aumento o custo do processo.

Porém o experimento 1 com 200 mg L⁻¹ de sulfato de alumínio e 25 rpm foi o que manteve o pH do efluente mais próximo da neutralidade.

Segundo Pavanelli (2001), quando adicionados à água, na etapa de mistura rápida, os sais de alumínio atuam como ácidos, consumindo a alcalinidade natural da água e, caso a mesma não possua alcalinidade suficiente, reduzindo o pH do meio. Além disso, a dispersão de coagulantes dessa natureza na água também promove a liberação de CO₂, contribuindo para a acidificação do meio.

Todavia, Quando a coagulação se efetua com sais de alumínio, independente do mecanismo predominante, o pH assume importante papel na prevalência das espécies hidrolisadas do coagulante. Já a alcalinidade do efluente bruto indica a sua capacidade tampão, que minimiza a queda acentuada do pH de coagulação.

Tal fato adquire maior relevância - para coagulação realizada no mecanismo da varredura - quando o coagulante empregado é o sulfato de alumínio, pois o mesmo apresenta um espectro de variação mais restrito do pH de coagulação para a formação do hidróxido.

Conclusão

O efluente analisado possui uma alta carga poluidora, baseado nos altos valores encontrados a partir das análises de pH, Cor, DQO e Turbidez. Constatando a necessidade de tratamento.

A partir do processo primário de coagulação, floculação e decantação, foi possível verificar que os mesmos possuem uma eficiência na diminuição dos parâmetros analisados.

O pH aumentou em todos os ensaios; o ensaio 1 foi o que teve um menor aumento do pH.

Foi possível analisar que a maior concentração de sulfato de alumínio (200 mg L^{-1}) obteve uma melhor redução de DQO quando utilizado uma velocidade de floculação de 25 rpm (Ensaio 1). Porém os melhores resultados para a remoção de Cor e Turbidez foram observados no ensaio do ponto central (Ensaio 5) em que a concentração de sulfato de alumínio foi de 150 mg L^{-1} e a velocidade de floculação de 20 rpm.

Agradecimentos

Ao Professor Mauricio Motta por ter cedido o espaço no Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA), da Universidade Federal de Pernambuco.

Referências

- APHA - American Public Health Association. Standard Methods. 19th Edition. Washington, Dc, 1995.
- BEZERRA, A. A. M., GUEDES, R. C., MELO, H. N. S., SOUZA, J. F., JERÔNIMO, C. E. M. **Aplicação Da Coagulação/Floculação Como Pré-Tratamento Ao Processo Uv- Peróxido No Tratamento De Efluentes Têxteis**. Xxx Congresso De La Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental. 2006.
- BRASIL. Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil N° 053, págs. 58-63. 2005.
- CAHEIRA, C.S. et al. **Processo de coagulação e Floculação**. 2013. Tese (mestrado em engenharia do ambiente) - Universidade do Porto-Portugal, 2013.
- COSTA, J. C. **Uso do coagulante orgânico tanino no tratamento de efluente de abatedouro avícola**. 2016. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2016.
- DOTTO, J., FAGUNDES-KLEN, M.R., VAIT, M.T., PALÁCIO, S.M., BERGAMASCO, R. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Jornal of Cleaner Production**. v. 208, p. 656-665, 2019.
- FREIRE, F. B. FREITAS, S. I. de. **AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR DE UM EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p.241-249, 09 set. 2010.
- JERÔNIMO, C. E. Uso de técnicas combinadas para o tratamento de efluentes têxteis: separação físico-química e fotodegradação UV-H₂O₂. **Revista REGET/UFSM**. v.8, p. 1626-1638, 2012.
- KIM, S.-C. **Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation-flocculation process for pre-treating paper wastewater**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 38, p. 93-102, 2016.
- LACERDA, Â. **Agreste tem 2º maior polo têxtil do Paí**. 2013. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,agreste-tem-2-maior-polo-textil-do-pais-imp-,981078>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Paulo, 2001. Dissertação de mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paula, 2001.
- PEREIRA NETO, L.M. **Avaliação físico-química do rio Ipojuca e lavanderia têxtil de pequeno porte no município de caruaru - PE**. 2017. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de técnico em Análises Químicas, Uninassau Recife, Recife, 2017.
- SCHROEDER, L. H. **Tratamento físico-químico por coagulação-floculação-sedimentação de efluente de indústria de celulose**. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Curitiba, 2016.
- SOUZA, P. C. PEREIRA, N. C. GONÇALVES, M. S. FILHO, N. C. RODRIGUES, P. H. JAMARIM, V. M. **Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p.123-132, 30 nov. 2016. Revista Exacta. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v9i2.1953>.
- VIJAYARAGHAVAN, G., SIVAKUMAR, T., KUMAR, A.V. Application of plant based coagulants for waste water treatment. Int. J. Adv. Revista: Technol 1, pp. 88-92, 2011.
- ZHANG, M. L. Z. et al. **Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment**. Elsevier, v. 212, p. 337-343, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.11.011>. Acesso em: 10 dez. 2018.